

Dr hab. inż. Grzegorz ĆWIKŁA, Prof. PŚ  
Politechnika Śląska  
Wydział Mechaniczny Technologiczny  
Katedra Automatykacji Procesów Technologicznych  
i Zintegrowanych Systemów Wytwarzania  
44-100 Gliwice, Konarskiego 18a  
e-mail: [grzegorz.cwikla@polsl.pl](mailto:grzegorz.cwikla@polsl.pl), tel. 32 237 25 45

Gliwice, 18.09.2023

**S E K R E T A R I A T**  
Rady Dyscypliny AEEITK

02. 10. 2023

Wpłynęło dnia .....

Zarejestrowano pod nr .....

Podpis .....

## RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgra inż. Piotra RECZKA  
pt. „Nowe metody rozpoznawania gestów 3D bez użycia kamer, w aplikacjach  
w branży motoryzacyjnej”

### Podstawa opracowania recenzji

Recenzję opracowano na zlecenie Rady Dyscypliny *Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne* Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie z dnia 6 lipca 2023.

### 1. Wstęp

Recenzowana praca skupia się na problematyce rozwoju interfejsów człowiek-maszyna pozwalających na sterowanie wybranymi funkcjami za pomocą gestów, bez użycia systemów opartych na analizie obrazu. Powstała ona jako wynik realizacji programu Doktoratów Wdrożeniowych, zgodnie z założeniami była prowadzona pod kątem aplikacji w warunkach konkretnego przedsiębiorstwa, w tym przypadku firmy Merit, zajmującej się głównie projektowaniem i produkcją komponentów mechatronicznych interfejsów użytkownika w pojazdach. Docelowym miejscem działania opracowanych metod, technologii i urządzeń są wnętrza samochodów, a celem doktoratu wdrożeniowego jest opracowanie technologii lub produktu, który zostanie wdrożony do produkcji (lub będzie gotowy do wdrożenia). Takie założenia narzucają pewne ograniczenia, wynikające z możliwości i polityki firmy, na potrzeby której doktorat wdrożeniowy jest realizowany.

Podlegająca recenzji rozprawa doktorska została wykonana pod kierownictwem dra hab. inż. Andrzeja Młyńca, prof. AGH oraz promotora pomocniczego dra Andrzeja Wetuli (reprezentującego firmę Merit) i stanowi ona istotny wkład w rozwój metod rozpoznawania i analizy gestów użytkownika w pojazdach, a opracowane technologie mogą być zaadaptowane do innych zastosowań. Rozwój metod analizy danych w czasie rzeczywistym, zwłaszcza z zastosowaniem technologii sztucznej inteligencji jest obecnie tematem wielu badań i prac rozwojowych, a dodatkowym utrudnieniem w niniejszym przypadku jest podjęcie próby zastosowania opracowanej metody w warunkach wnętrza pojazdów, przy

ograniczeniach narzuconych przez firmę, w której opracowane rozwiązanie ma być wdrożone (między innymi minimalizacja kosztów i unikanie technologii opartych na analizie obrazów).

Wyniki niniejszej pracy budzą nadzieję na zastosowanie w szerokiej gamie produktów konsumenckich, pozwalając na bezpieczniejszą ich eksploatację, minimalizującą groźbę rozproszenia użytkownika poprzez używanie nadmiernie skomplikowanego interfejsu człowiek-maszyna, co wpisuje się także w trend programu Przemysł 4.0, zakładającego bliską integrację człowieka z maszynami. Opiniowana rozprawa doktorska mgra inż. Piotra Reczka wpisuje się w trend badawczy, zmierzający do rozwoju metod sztucznej inteligencji i systemów czasu rzeczywistego.

## 2. Opis rozprawy doktorskiej

Objętość recenzowanej rozprawy doktorskiej to 117 stron, składa się ona z 7 głównych rozdziałów, wykazu literatury liczącego 90 pozycji (łącznie ze źródłami internetowymi, a Doktorant jest współautorem jednej publikacji) oraz streszczeń w języku polskim i angielskim. Nie zamieszczono wykazów skrótów, oznaczeń, rysunków ani tabel.

We wstępie pracy Doktorant bardzo krótko zaprezentował genezę zagadnienia stanowiącego przedmiot rozprawy oraz wspomniał o technologiach optycznych (które zostały wykluczone ze względu na profil produkcyjny firmy Merit) i historii detekcji gestów.

Drugi rozdział pracy, zatytułowany *Przegląd literatury oraz istniejących rozwiązań*, zawiera głównie syntetyczny opis najczęściej stosowanych w pojazdach technologii, umożliwiających bądź ułatwiających interakcję człowieka z pojazdem. Jest tam także obszerny (prawie 14 stron) podrozdział, poświęcony tematyce fuzji danych z różnych źródeł. Nie ma tutaj natomiast kompleksowej prezentacji i analizy zaawansowanych metod analizy i interpretacji danych, takich jak sieci neuronowe – używane w pracy metody i techniki opisano w dalszych rozdziałach, w miejscach, gdzie były one wykorzystywane. Analiza literatury została więc przeprowadzona raczej poprawnie, ale pomija kilka zagadnień które moim zdaniem powinny się w niej znaleźć, a w wielu przypadkach istotne elementy znalazły się w innych miejscach rozprawy.

W rozdziale trzecim przedstawiono krótko cel i zakres pracy. Uzasadniono też podjęcie wybranego tematu prac badawczo-rozwojowych oraz zaprezentowano ograniczenia i warunki, jakie muszą spełniać opracowane urządzenia, by mogły znaleźć się w portfolio firmy Merit, a tym samym spełnić założenia programu Doktorat wdrożeniowy. Celem głównym było opracowanie technologii rozpoznawania gestów rękoma we wnętrzu pojazdu, w obszarze działania systemu, aby umożliwić uruchamianie ograniczonej liczby funkcji pojazdu. Rozdział trzeci dopełniono opisem konstrukcji pracy i zawartości kolejnych rozdziałów, co ułatwia orientację w tekście. Postawiono tutaj także dość oczywistą tezę pracy, mówiącą, że ze względu na ograniczenia wybranych technologii, fuzja danych z dwóch systemów pozwoli na uzyskanie lepszych rezultatów, niż w przypadku wykorzystania każdego z nich osobno.

Rozdział czwarty (około 27 stron) zawiera obszerny opis pierwszego z opracowanych i przetestowanych systemów rozpoznawania gestów, opartego o czujniki pojemnościowe. Opisano tu zastosowane urządzenia (specjalistyczny układ do obsługi czujników

pojemnościowych i mikrokontroler), fabryczne i wykonane w własnym zakresie matryce czujników pojemnościowych oraz algorytmy, pozwalające na realizację pomiarów i interpretację uzyskanych wyników. Dane z czujników, po przetworzeniu do postaci cyfrowej są poddawane interpretacji przez algorytm sieci neuronowej zaimplementowany w mikrokontrolerze, jednak przygotowanie i trening sieci jest realizowany w aplikacji na komputerze PC. Opisano sposób rozszerzenia zbioru danych uczących i samego procesu uczenia. W celu ułatwienia tworzenia zbioru danych uczących wykorzystano także odpowiednio oprogramowany manipulator. Opracowane urządzenia przetestowano w środowisku, w jakim intencjonalnie mają być używane – w samochodzie. Uzyskane wyniki opisano jednak bardzo krótko, praktycznie jedynie je podsumowując. Ten rozdział zawiera większość udokumentowanych elementów, stanowiących o wartości naukowej i empirycznej.

Drugi z opracowanych systemów, przeznaczony do rozpoznawania gestów w oparciu o radar opisano w rozdziale piątym (liczącym 25 stron), którego układ jest zbliżony do poprzedniego, tzn. krótko opisano wykorzystany specjalistyczny moduł deweloperski do prac nad czujnikami radarowymi, zawierający także anteny, jak również mikrokontroler. Przystawiono metody i algorytmy wykrywania odległości i prędkości z wykorzystaniem sygnałów z czujnika radarowego. Dość dokładnie opisano też złożony algorytm przetwarzający dane otrzymane z radaru do formy przebiegów czasowych, nie wiadomo jednak, w jakim stopniu jest on i poszczególne jego kroki dziełem Doktoranta. Dalej zaprezentowano opracowany przez Doktoranta model sieci neuronowej, odpowiadającej za interpretację danych uzyskanych z radarowego układu pomiarowego, jednak nie zamieszczono żadnych opisów przygotowania danych i treningu sieci, ani wyników jej działania (fragmentaryczne wyniki pojawiają się w kolejnym rozdziale, poświęconym fuzji danych z dwóch opracowanych systemów), co pozostawia głęboki niedosyt. Nie wiadomo jaki jest użyteczny zasięg działania systemu, poprawność uzyskiwanych wyników, odporność na zakłócenia wynikające na przykład z docelowej instalacji we wnętrzu pojazdu, z natury niewielkim i zawierającym wiele elementów na stałe obecnych w obszarze działania radaru. Układ czujnika radarowego nie został przetestowany we wnętrzu pojazdu.

Rozdział 6 (o objętości 6 stron) zawiera bardzo krótki opis metodologii i uzyskanych wyników fuzji danych z obu systemów pomiarowych (pojemnościowego i radarowego), do której zastosowano kolejną, zmodyfikowaną sieć neuronową Inception Time. Zaprezentowane wyniki mieszczą się w jednym wierszu tabeli, pozostaje więc jedynie wierzyć w słowa Doktoranta, że pozwalają one potwierdzić słuszność postawionej tezy.

Ostatni rozdział pracy zawiera podsumowanie i określa możliwe kierunki rozwoju, zadeklarowano w nim też spełnienie warunków programu Doktorat wdrożeniowy. Rozdział ten także jest bardzo krótki i pozostawia niedosyt, wydaje się też zawierać sprzeczne stwierdzenia.

Ogólny układ pracy uważam za właściwy i zgodny z typowymi rozprawami doktorskimi z dziedziny nauk technicznych, w dyscyplinie *Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne*.

### **3. Uwagi odnośnie do wyboru tematu, celu, oraz zakresu rozprawy**

Przedstawiona do recenzji praca doktorska dotyczyć ma, zgodnie z tytułem, opracowania i testów systemu rozpoznawania gestów 3D bez użycia kamer, w aplikacjach w branży motoryzacyjnej. Moim zdaniem, ten tytuł może nieco wprowadzać w błąd, ponieważ oczekiwać można po nim pracy, opisującej rozwiązania stosowane na poziomie wspomagania pracy systemów produkcyjnych (zwłaszcza automatyzacji procesów wytwórczych), a nie systemów montowanych w pojazdach. Jeśli jednak zgodzić się z interpretacją zakresu tematycznego proponowaną w pracy, można przyjąć, że zrealizowano w niej przyjęte cele, wpisujące się we współczesne trendy i potrzebę opracowywania rozwiązań pozwalających na usprawnienie i uproszczenie interakcji człowiek-maszyna w coraz bardziej skomplikowanych samochodach. Rozwiązania te mogą być oczywiście zastosowane także poza pojazdami, np. do wspomagania obsługi stanowisk na liniach produkcyjnych, maszyn roboczych (takich jak np. koparki), robotów lub nawet w branży lotniczej, gdzie występuje znaczne obciążenie pilota obsługą wielu skomplikowanych systemów w warunkach presji czasowej.

Opracowywane rozwiązania mają opierać się na stosunkowo tanim sprzęcie, umożliwić rozpoznawanie wielu gestów i być zgodne z ofertą i możliwościami firmy, będącej partnerem wykorzystującym wyniki doktoratu wdrożeniowego, by umożliwić masową produkcję i przedstawianie ofert korzystniejszych niż konkurenci rynkowi. Autor wskazał na brak takich rozwiązań w odniesieniu do sektora w którym mają one być stosowane, przy założeniu uniknięcia stosowania technologii opartych o analizę obrazów, wybór tematu można więc uznać za zasadny. Można mieć pewne wątpliwości, czy w analizie literatury nie pominięto zagadnień istotnych ze względu na wybrany temat oraz czy przyjęte założenia i zakres wdrożenia nie ograniczyły nadmiernie wyboru rozwiązań zastosowanych w toku pracy.

Pomimo powyższych uwag, po zapoznaniu się z rozprawą uważam, że cel i zadania zostały sformułowane prawidłowo. Zakres rozprawy dobrano poprawnie, odpowiednio do celów rozprawy przyjętych przez Doktoranta, wątpliwości może budzić jedynie bardzo oszczędna prezentacja wyników, być może wynikająca z chęci zachowania poufności bardziej szczegółowych rezultatów.

### **4. Ocena merytoryczna rozprawy**

Tematyka rozprawy przyjęta przez Doktoranta jest aktualna w świetle współczesnych trendów rozwoju pojazdów i systemów wbudowanych. Biorąc pod uwagę złożoność zagadnienia analizy danych z różnego rodzaju czujników oraz rosnące znaczenie metod sztucznej inteligencji i zaawansowanej interpretacji danych w czasie rzeczywistym, uważam, że Doktorant prawidłowo przeanalizował czynniki istotne ze względu na zakres pracy, opierając się na współczesnym stanie wiedzy w tej dziedzinie. Zaprezentowany przez Doktoranta w rozprawie zakres badań może być kontynuowany i rozszerzony, a opracowane rozwiązania sprzętowe i programowe nadają się do szerszego zastosowania, co zwiększa znaczenie i ocenę pracy. Zaproponowane przez Doktoranta kierunki dalszych badań wskazują, że dostrzega on zarówno ograniczenia zastosowanego podejścia, jak również ma pomysły dalszego usprawniania proponowanych w rozprawie metod.

#### 4.1. Elementy oryginalne

Do najważniejszych oryginalnych elementów rozprawy, której celem było opracowanie systemów rozpoznawania gestów 3D do zastosowań we wnętrzach pojazdów, w tym urządzeń i algorytmów rozpoznawania cech w czasie rzeczywistym zaliczam:

1. Opracowanie sprzętu i oprogramowania systemu rozpoznawania gestów z zastosowaniem czujników pojemnościowych, w tym zaprojektowanie sieci neuronowej interpretującej uzyskane dane, możliwej do implementacji w mikrokontrolerze, z zachowaniem ograniczeń wynikających ze środowiska wdrożenia (konkretna firma)
2. Badania nad matrycami elektrod, pozwalającymi efektywnie rozpoznawać gesty w założonych warunkach
3. Rozwój metod treningu sieci neuronowych i przygotowanie szerokiego zakresu danych uczących, w tym z pomocą odpowiednio zaprogramowanego manipulatora
4. Przeprowadzenie testów jednego z opracowanych rozwiązań (wyłącznie czujniki pojemnościowe) we wnętrzu pojazdu
5. Opracowanie sprzętu i oprogramowania systemu rozpoznawania gestów z zastosowaniem czujników radarowych, w tym zaprojektowanie sieci neuronowej interpretującej uzyskane dane w postaci serii czasowych
6. Badania sprawności systemu działającego na podstawie fuzji danych z różnego rodzaju czujników przez kolejną sieć neuronową
7. Sprawne wykorzystanie nowoczesnych języków programowania wysokiego poziomu wraz z zaawansowanymi bibliotekami specjalistycznymi do wydobywania, analizy i wizualizacji danych.

#### 4.2. Uwagi dyskusyjne

1. Praca doktorska ma stosunkowo niewielką, jak na obszerność tematu, liczbę stron, co wynika z bardzo oszczędnie przeprowadzonej analizy literatury i pozostawiającej duży niedosyt prezentacji wyników badań – trudno ocenić, czy jest to wynikiem pośpiechu, czy konieczności zachowania poufności opracowanych rozwiązań i uzyskanych danych?
2. W analizie literatury całkowicie pominięto systemy wykrywające zmęczenie i zaśnięcie kierowcy, systemy pozwalające na otwarcie bagażnika ruchem nogi, nie opisano też obecnych i planowanych do wprowadzenia do pojazdów w kolejnych latach systemów wspomagających kierowcę i podnoszących bezpieczeństwo, wymaganych przez przepisy Unii Europejskiej.
3. Problematiczny jest brak wstępu na początku rozdziału 2, który powinien wprowadzić, jakie zagadnienia zostaną w nim przedstawione. Rozdział 1 (wstęp do pracy) także jest bardzo krótki i nie wprowadza czytelnika płynnie do zagadnień, które zostaną omówione w analizie literatury. Sama analiza literatury jest też niezbyt obszerna, pomijając wiele zagadnień. Bardzo dużo miejsca poświęcono w niej za to tematyce fuzji danych, przedstawionej na poziomie definicji i klasyfikacji według

różnych kryteriów, co mogłoby się bronić, gdyby ważniejszym i bardziej złożonym tematom poświęcono podobnie wiele uwagi.

4. W rozdziale 4.1 zadeklarowano, że układ MGC3140 ma wprawdzie wbudowane moduły pozwalające na rozpoznawanie gestów oraz pozycji obiektu w zasięgu elektrod, jednak ich wykorzystanie nie przyniosło zadowalających rezultatów – nie przedstawiono jednak żadnych dalszych wyjaśnień ani wyników badań, wskazujących na istnienie takiego problemu.
5. Przeprowadzono badania różnego rodzaju i kształtu elektrod oraz materiałów, które mogą je maskować w celach estetycznych, sprawdzono też działanie systemu opartego na detekcji pojemności w samochodzie, jednak nie wspomniano o istnieniu potencjalnych zakłóceń z innych źródeł, które potencjalnie mogą znajdować się w pobliżu i wpływać na skuteczność działania systemu, takich jak telefony komórkowe. Czy takie badania zostały przeprowadzone?
6. Ogólnie w rozprawie zamieszczono bardzo niewiele wyników badań na różnych etapach, np. na stronie 50 wspomniano o badaniach różnych elektrod w różnych trybach, skwitowano je jednak tylko stwierdzeniami, że zasięg jest zbyt mały lub zakłócenia zbyt duże. Rekordowy pod tym względem jest jednak rozdział 5, poświęcony jednemu z kluczowych dla rozprawy tematów – wykorzystaniu radaru do rozpoznawania gestów, w którym nie zamieszczono żadnych wyników. Nie opisano także szczegółów implementacji.
7. W rozdziale 5 opisano złożony algorytm przetwarzający dane otrzymane z radaru do formy przebiegów czasowych, nie wiadomo jednak, jaki jest udział Doktoranta w opracowaniu tego algorytmu, ani w jaki sposób został on zaimplementowany. Czy jest to dzieło Doktoranta, czy wykorzystano gotowe elementy z bibliotek dostarczanych przez producenta układów (Radar Fuzion GUI Infineon), a dobrano jedynie nastawy na poszczególnych etapach działania algorytmu (co samo w sobie też jest oczywiście zadaniem badawczym)?
8. Czy manipulator wykorzystywany podczas testów czujników pojemnościowych był także wykorzystywany w dalszych testach, czyli badaniach systemu radarowego i fuzji danych?
9. W rozdziale poświęconym czujnikom pojemnościowym informowano o rozpoznawaniu 5 gestów, w rozdziale o czujnikach radarowych można się domyślić, że sytuacja jest podobna, ale już w rozdziale poświęconym fuzji danych przedstawiono bardzo skrótowo wyniki testów rozpoznawania 5 i 7 gestów – dlaczego nie zostało to ujednoczone w całej pracy?
10. Rozdział 6, mający udowodnić słuszność przyjętej tezy jest bardzo krótki, wyniki przedstawiono w formie jednego wiersza tabeli, co utrudnia czytelnikowi ocenę, czy rzeczywiście teza została udowodniona.
11. W rozprawie nie przedstawiono informacji na temat przypadków nieprawidłowej klasyfikacji gestów dla żadnej z opisanych technologii – czy i w jaki sposób sprawdzono, jak często dochodzi do rozpoznania gestu jako poprawny, ale o innym znaczeniu niż zamierzała to osoba używająca systemu?

### 4.3. Uwagi szczegółowe

Zamiast listy uwag szczegółowych wypada mi zamieścić jedną zbiorczą uwagę – praca jest zredagowana bardzo niestarannie i powinna zostać poddana korekcie ortograficznej i redakcyjnej przed złożeniem i przesłaniem do recenzji. Część tych błędów zaznaczyłem w przesłanym mi egzemplarzu, jednak od pewnego momentu zaznaczałem tylko te najbardziej rażące. W pracy są liczne literówki, błędy interpunkcyjne, gramatyczne i niepoprawności stylistyczne, pojawiają się także błędy które mogą być sklasyfikowane jako ortograficzne, niepoprawna pisownia niektórych słów razem/osobno.

Rozprawa jest napisana niejednolicie pod względem gramatycznym, pojawiają się fragmenty pisane w pierwszej osobie liczby pojedynczej, stosowane są potoczne lub obcojęzyczne określenia pojęć, dla których istnieją polskie oficjalne odpowiedniki (np. nóżka układu scalonego lub pin, który powinien być raczej określany wyprowadzeniem). Regularnie mylone są pojęcia „ilość” i „liczba”, które w języku polskim mają określone, różne znaczenia (choć jest prawdopodobne, że, ze względu na powszechność tego błędu, przestanie on być traktowany jako błąd).

Dwa kolejne rysunki są oznaczone tym samym numerem 29, czego można było uniknąć, zamieszczając w rozprawie spis rysunków.

Osobna uwaga należy się spisowi literatury, w którym jedna z pozycji (19) wśród współautorów wymienia „A. Semiconductor”, co wzbudziło moje zainteresowanie – sprawdziłem, że ta publikacja istnieje, jednak wśród współautorów nie występuje A. Półprzewodnik. Z kolei publikacji C. Darwina przypisano rok wydania jednej z reedycji (2013) – oryginalna pierwsza wersja została opublikowana w 1972 roku. Ogólnie jednak bibliografia jest zredagowana poprawnie, pozycje są ułożone według kolejności powoływania się na nie w treści rozprawy.

### 5. Wniosek końcowy

Uważam, że podjęty i rozwiązany przez Doktoranta problem badawczy ma istotne znaczenie dla rozwoju metod analizy danych z czujników (zwłaszcza w czasie rzeczywistym, z wykorzystaniem metod sztucznej inteligencji), a także nowoczesnych ale jednocześnie niedrogich systemów, pozwalających na uproszczenie interakcji człowiek-maszyna w pojazdach lub innych warunkach, gdzie ważne jest bezpieczeństwo i minimalizacja rozpraszania uwagi użytkownika, często związane z użyciem tradycyjnych metod wprowadzania danych lub wydawania poleceń.

Doktorant wykazał się ogólną wiedzą teoretyczną w dyscyplinie *Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne* oraz umiejętnością zaplanowania i samodzielnego prowadzenia badań naukowych. Przedstawione w niniejszej recenzji rozprawy uwagi dyskusyjne i szczegółowe nie umniejszają wartości merytorycznej rozprawy.

Biorąc pod uwagę powyższe stwierdzam, że opiniowana rozprawa doktorska mgr inż. Piotra Reczka pt. *Nowe metody rozpoznawania gestów 3D bez użycia kamer, w aplikacjach w branży motoryzacyjnej* spełnia w wystarczającym stopniu wymagania stawiane rozprawom doktorskim przez Ustawę z dnia 20 lipca 2018 r. *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* (Dziennik Ustaw 2023, poz. 742) i wnoszę o dopuszczenie jej do publicznej obrony przed Radą Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie (lub jej odpowiednikiem, w przypadku zmian organizacyjnych w Uczelni bądź w dyscyplinach naukowych).



**Dr hab. inż. Grzegorz Ćwikła, prof. PŚ**